



Tulevaisuuden ilmastonmuutos Suomessa: vaikutukset
lämpötilaan, sademäärään ja tulviin vuoteen 2100 mennessä

Jussi Letola

790351A

LuK-seminaari ja-tutkielma
Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun yliopisto

14.05.2020

Oulun yliopisto

Maantieteen tutkimusyksikkö

Tekijä: Jussi Letola

Opiskelijanumero: 2555155

Tutkielman nimi: Tulevaisuuden ilmastonmuutos Suomessa: vaikutukset lämpötilaan, sademäärään ja tulviin vuoteen 2100 mennessä

Tutkielman sivumäärä: 31

Päivämäärä: 14.05.2020

Tiivistelmä:

Tässä tutkielmassa käsitellään ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Ilmastonmuutoksella katsotaan olevan laaja-alaisia vaikutuksia koko maapallolle, joiden tutkiminen ja ymmärtäminen on hyvin tärkeää tulevaisuuden kannalta. Aiheen laajuuden vuoksi tässä työssä keskitytään ainoastaan vaikutuksiin koskien lämpötilaa, sademäärää sekä tulvia. Maapallolla, ja sitä kautta myös Suomessa on jo havaittavissa muutoksia, joiden katsotaan johtuvan joko suoraan tai epäsuorasti ilmastonmuutoksesta.

Lämpötiloja ja sademääriä on Suomessa mitattu jo useita vuosikymmeniä, jopa teollisen vallankumouksen alusta saakka. Näin ollen on pystytty havaitsemaan muutoksia, niiden trendejä ja voimakkuuksia tähän päivään asti. Nykypäivänä ihmistoiminnan aiheuttamat voimakkaat kasvihuonekaasupäästöt lämmittävät maapallon ilmakehää, joka edelleen vaikuttaa ilmastoon globaalilla-, alueellisella- sekä paikallisella tasolla. Sen sijaan tulvat ovat Suomessa tuttu, jokavuotinen ilmiö, johon ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan tulevaisuudessa yhä enemmän. Tulvien voimakkuuteen vaikuttaa lämpötilan ja sademäärän muutoksien lisäksi merenpinnan nousu, jota myös tarkastellaan tässä tutkielmassa.

Tässä tutkielmassa esitetyt tulokset perustuvat ilmastonmuutosta sekä Suomen ilmastoa käsitteleviin tieteellisiin tutkimuksiin, joiden pohjalta on pyritty rakentamaan kokonaisvaltainen kuva odotettavissa olevista muutoksista.

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	4
2. TULEVAN ILMASTON ENNUSTAMINEN.....	5
2.1 RCP-skenaariot	5
2.2 Ilmastomallit	8
2.3 Ilmastomallien epävarmuustekijöitä	9
3. LÄMPÖTILA.....	10
3.1 Havaitut muutokset lämpötilassa	10
3.2 Lämpötilan muutos tulevaisuudessa.....	11
4. SADEMÄÄRÄ	15
4.1 Sademäärän muutokset 1900-luvun alusta lähtien	15
4.2 Odotettavissa olevat muutokset sademäärässä	17
5. TULVAT.....	19
5.1 Suomessa esiintyvät tulvat ja niiden aiheuttajat.....	19
5.2 Merenpinnan nousun vaikutus tulviin	21
5.3 Tulvat tulevaisuudessa Suomessa	23
6. POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
LÄHTEET.....	30

1. Johdanto

Ilmastonmuutos on laajasti tutkittu aihe nykypäivänä, joten aihe vaatiikin laajaa tutkimusta ilmiön monipuolisesta ja monimutkaisesta luonteesta johtuen. Yleisesti ottaen ilmastonmuutoksella tarkoitetaan erilaisia muutoksia maapallon ilmastossa, esimerkiksi lämpötiloissa ja sademäärissä. Jotkin näistä muutoksista ovat jo nyt havaittavissa, kun taas toisten odotetaan esiintyvän tulevaisuudessa. Ruosteenojan ym. (2013b) mukaan kyseisten muutosten voimakkuus katsotaan riippuvan viime kädessä kasvihuonekaasujen ja hiukkasten päästöistä sekä niiden pitoisuuksista ilmakehässä, ja muutoksilla katsotaan olevan paljon erilaisia vaikutuksia maapallolla vallitseville olosuhteille, sekä täten myös sen asukkaille. Tästä syystä ilmastonmuutoksen tutkiminen on hyvin tärkeää. Ihmisen toiminta maapallolla tuottaakin useita eri kasvihuonekaasupäästöjä, joista tärkeimpänä pidetään hiilidioksidia. Hiilidioksidin lisäksi muita merkittäviä ihmiskunnan tuottamia kasvihuonekaasuja ovat muun muassa metaani, typpioksiduuli, halogenisoidut hiilivedyt ja troposfäärin otsoni. Edellä mainittujen lisäksi vesihöyryä pidetään myös merkittävänä kasvihuonekaasuna, joskin sitä ei niinkään katsota ihmiskunnan tuottamaksi. Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä kasvavat jatkuvasti, jotka edelleen kiihdyttävät käynnissä olevaa ilmastonmuutosta.

Ilmastonmuutosta on tutkittu paljon viime vuosina, sen vaikutuksia on mitattu ympäri maailmaa ja monien tutkimusten perusteella yritetään jatkuvasti ennustaa tulevaisuuden näkymiä. Tällä hetkellä tiedetään jo, että ilmastonmuutos vaikuttaa maapallon keskilämpötilaan ja sademäärään, ja sitä kautta esimerkiksi kuivuuteen, merenpinnan nousuun, sään ääri-ilmiöihin ja moniin muihin ilmiöihin, jotka voivat olla haitallisia elämälle maapallolla. Ilmastonmuutos on globaali ilmiö, eikä Suomikaan tule välttymään sen seurauksilta. Näin ollen on tärkeää tutkia, millaisia vaikutuksia ilmastonmuutoksella on, ja tulee olemaan tulevaisuudessa Suomessa. Aihetta onkin tutkittu suhteellisen laajasti, ja tämän seminaarityön tarkoitus on koota yhteen Suomea koskevat tutkimukset ja tulevaisuuden näkymät liittyen ilmastonmuutokseen. Vaikka seminaarityöni keskittyy lähinnä konkreettisiin muutoksiin ilmastossa, on myös hyvä pohtia, millaisia vaikutuksia näillä muutoksilla tulee olemaan ja miten Suomi voi sopeutua odotettavissa oleviin muutoksiin.

Tämän työn tutkimuskysymykset siis ovat:

1. Miten ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan Suomen lämpötilaan ja sademäärään kuluvan vuosisadan aikana?
2. Mitä vaikutuksia ilmastonmuutoksella tulee olemaan merenpinnan nousuun, ja Suomessa esiintyviin tulviin?

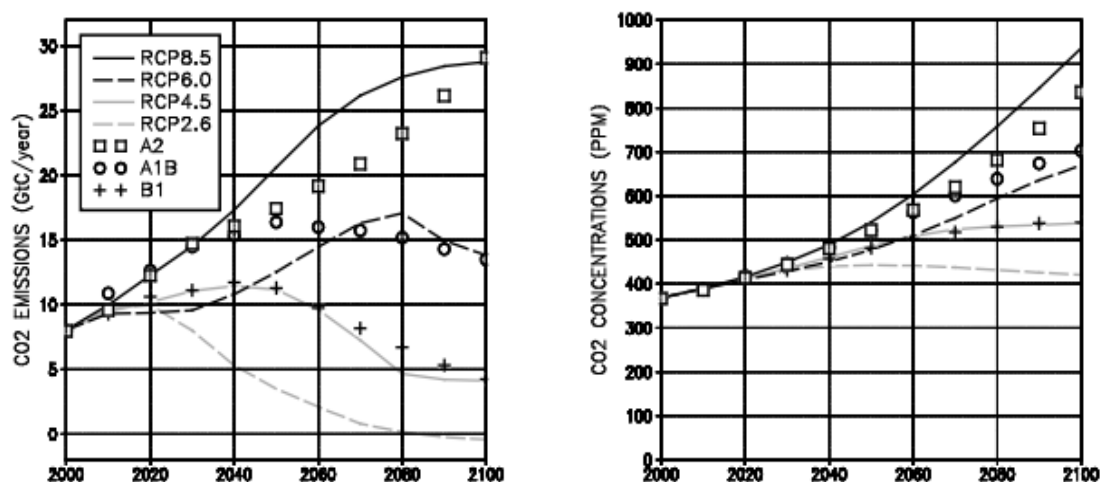
Kuten todettua, ilmastonmuutos vaikuttaa monella eri tavalla kunkin alueen olosuhteisiin, joten kokonaisvaltainen tutkimus olisi mahdotonta sisällyttää yhteen seminaarityöhön. Näin ollen tutkiessani aihetta Suomen kontekstissa, päätin keskittyä neljään eri osa-alueeseen: lämpötilaan, sademäärään, merenpinnan nousuun ja tulviin (joki- sekä rannikotulvat). Kustakin aiheesta on julkaistu suhteellisen paljon tieteellisiä tekstejä, ja muun muassa Ilmatieteenlaitos suorittaa jatkuvasti erilaisia hankkeita, joissa pyritään selvittämään ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Tätä seminaarityötä kirjoittaessani perehdynkin huolellisesti Ilmatieteenlaitoksen tutkimuksiin ja niiden tuloksiin, sekä muihin tieteellisiin julkaisuihin, jotka käsittelevät tätä aihetta. Tulevaisuuden ennusteet koskien näitä vaikutuksia ja Suomen tulevaa ilmastoa rajoittuvat pääosin vuoteen 2100 saakka.

2. Tulevan ilmaston ennustaminen

2.1 RCP- skenaariot

Skenaariot ovat yksi yleisimmistä ja tärkeimmistä työkaluista klimatologiassa, kun tutkitaan ilmastonmuutosta ja sen tulevaisuuden seurauksia. Yksi tunnetuimpia ilmastoskenaarioiden käyttäjiä on hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC), jonka tehtävä on tukea ilmastopoliittista päätöksentekoa kokoamalla yhteen tieteellistä tietoa ilmastonmuutoksesta. IPCC valmistaa ilmastonmuutosraportteja, joissa esitetään tietoa ilmastonmuutoksesta, sen vaikutuksista sekä hillitsemis- ja sopeutumismahdollisuuksista (IPCC-Ilmastopaneeli 2020). IPCC:n arviointiraporteissa käyttämät skenaariot perustuvat pääasiassa kasvihuonekaasu- ja pienhiukkaspäästöihin ja niiden pitoisuuksiin ilmakehässä. Viidennessä arviointiraportissa, joka julkaistiin vuonna 2013, esiteltiin uudenlaiset skenaariot, joita kutsutaan pitoisuuksien kehityskulun

skenaarioiksi (Representative Concentration Pathways). RCP-skenaariot korvasivat aiemmat kolme (A1, A1B ja B1) ilmastomalleissa käytetyt SRES-skenaariot (Special Report on Emissions Scenarios). SRES-skenaarioita käytettiin muun muassa IPCC:n neljännessä arviointiraportissa (2007). Uusissa skenaarioissa otetaan nyt myös huomioon 2000-luvulla syntyneet päästöt, sekä eri alueiden maankäyttötavat. Yleisesti ottaen kasvihuonekaasuskenaariot perustuvat olettamuksiin maapallon väestömäärän kehityksestä sekä tulevaisuuden energiantuotantotavoista. Ympäristön, ja ihmiskunnan kannalta optimistisin skenaario on RCP2.6, jossa ihmisen toiminnasta syntyvät hiilidioksidipäästöt lähtisivät laskuun vuoden 2020 jälkeen ja olisi kuluvaan vuosisadan loppuun mennessä lähellä nollatasoa. Sen sijaan pahimmassa skenaariossa RCP8.5, päästöjen määrä jatkaisi nopeaa kasvamistaan koko vuosisadan ajan, jolloin esimerkiksi hiilidioksidipäästöt kolminkertaistuisivat vuosisadan loppuun mennessä, samalla kun hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä niin ikään kolminkertaistuisi teollistumista edeltävään aikaan verrattuna, nousten jo lähelle 1000 ppm:ää. Tämä nopea kasvu jatkuisi myös vuoden 2100 jälkeen tämän skenaarion mukaan. Näiden kahden ääripään väliin sijoittuvat RCP4.5- sekä RCP 6.0-skenaariot, joiden mukaan päästöt kääntyisivät laskuun jossain vaiheessa tämän vuosisadan aikana, esimerkiksi n. vuonna 2040 RCP 4.5-skenaarion mukaan, jolloin hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä olisi noin kaksinkertainen verrattuna esiteolliseen aikaan (Ruosteenoja, 2013a). RCP- skenaarioissa esiteltävät kasvihuonekaasupäästöt ovat pääosin hiilidioksidipäästöjä, sillä hiilidioksidin koetaan olevan merkittävin ihmiskunnan tuottama kasvihuonekaasu, mutta myös muut kasvihuonekaasut on otettu huomioon. Esimerkiksi metaanipäästöt ovat myös suurimmat RCP8.5-skenaariossa ja pienimmät RCP2.6-skenaariossa. (Ruosteenoja ym. 2016b). Sekä RCP- että SRES-skenaarioiden sisältämät hiilidioksidipäästöt ja -pitoisuudet kuluvalle vuosisadalle ovat kuvattuna kuvassa 1.



Kuva 1. Hiilidioksidipäästöjen (vasen) ja –pitoisuuksien (oikea) kehitys vuosien 2000-2100 välillä neljän RCP- ja kolmen SRES-skenaariion mukaan. Päästöt ovat kuvattuna gigatonneina vuodessa, ja pitoisuudet tilavuuden miljoonasosina (ppm) (Ruosteenoja ym. 2016a).

IPCC pyysi tiedeyhteisöjä kehittämään uudet skenaariot pääosin kolmesta eri syystä. Ensinnäkin, käytettävissä olevat ilmastomallit olivat kehittyneet niin paljon, että niiden käyttämiseen tarvittiin yksityiskohtaisempaa tietoa, kuin aikaisemmat skenaariot olivat tuottaneet. Toiseksi, uusiin skenaarioihin haluttiin sisällyttää myös erilaiset ilmastopolitiikat, jotta voitaisiin paremmin arvioida pitkän tähtäimen ilmastotavoitteiden hyödyt ja haitat. Ja viimeiseksi, uusien skenaarioiden haluttiin sisältävän tietoa useilta eri tiedealoilta, joka auttaisi tutkittaessa ilmastomuutokseen sopeutumista (van Vuuren ym. 2011). RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 sekä RCP8.5- skenaarioiden numeroarvot edustavat säteilypakotteen suuruutta (W/m^2). Koska useat eri päästöjen ja pitoisuuksien kehityskulut voivat tuottaa saman suuruisen säteilypakotteen vuosisadan loppuun mennessä, kukin RCP- skenaario edustaa suurta joukkoa mahdollisia skenaarioita (Ilmasto-opas: Kasvihuonekaasujen päästö- ja pitoisuusskenaariot 2020).

van Vuuren ym. (2011), korostavat artikkelissaan sitä, että RCP- skenaarioita ei tulisi tulkita tulevaisuuden ennusteina eikä absoluuttisina raja-arvoina. Niitä ei myöskään tulisi pitää politiikkaa ohjailevina, vaikka ne voivatkin tuottaa tärkeää tietoa ilmastomuutoksesta päättäjille.

2.2 Ilmastomallit

Tehdessään tulevaisuuden ilmastoennusteita, tutkijat käyttävät työkaluinaan erilaisia ilmastomalleja. Ilmastomallit perustuvat fysiikanlakeihin, jotka säätelevät maapallon ilmaston, merien ja maanpintakerroksen käyttäytymistä. Ilmastomalleissa maapallon ilmastojärjestelmä esitetään matemaattisten yhtälöiden avulla, jotka syötetään tietokoneohjelmalle, jolloin tässä vaiheessa arvoja joudutaan yksinkertaistamaan, jotta ohjelma pystyy käsittelemään dataa ja simuloimaan ilmastojärjestelmän käyttäytymistä. Ruosteenoja ym. (2013b) mukaan kasvihuonekaasujen ja hiukkasten pitoisuuksien kehitys on ratkaisevassa asemassa tulevaisuuden ilmaston kannalta. Tämän vuoksi edellä mainitut RCP-skenaariot perustuvat näihin pitoisuuksiin. Kun syötetään RCP-skenaarioihin perustuvat pitoisuuksien muutokset ilmastomalleille, mallit kykenevät simuloimaan arvioita esimerkiksi lämpötilan ja sademäärän tulevista muutoksista, näitä arvioita pystytään tuottamaan sekä globaalisti, että kansallisella tasolla.

Ilmastomalleja on olemassa nykypäivänä useita kymmeniä, ja niitä on kehitelty useiden eri valtioiden toimesta. CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) on globaalisti jaettu ilmastomalliaineisto, jonka avulla tutkijat pystyvät tekemään yhteistyötä ja havaitsemaan mahdolliset heikkoudet ilmastomalleissa, ja näin ollen kehittämään uusia malleja. Uusin ja laajin versio on CMIP5 (The Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), johon kuuluvilla malleilla on tehty ennustuksia myös Suomen ilmastosta. Esimerkiksi Ruosteenoja ym. (2016a), esittelevät artikkelissaan tulevaisuuden ilmastoarvioita Suomessa, käyttäen apuna simulaatioita, jotka oltiin tuotettu 28:lla eri CMIP5:n kuuluvalla ilmastomallilla. Lämpötilojen ja sademäärien muutoksien simuloimiseen oli käytössä alun perin 35 maailmanlaajuista ilmastomallia, mutta Ruosteenoja ym (2016a) joutuivat karsimaan näistä 7 mallia, koska ne eivät täyttäneet heidän vaatimiaan ehtoja. Valitessaan ilmastomalleja käyttöönsä mallien tuli täyttää neljä tärkeää ehtoa, jotta mallin antamat tulokset olisivat tarpeeksi tarkkoja tutkimustyön tekemistä varten. Ensimmäisenä ehtona oli se, että mallin tulee vähintään tyydyttävästi kyetä kuvaamaan Suomen ja Euroopan havaintojen mukainen ilmasto. Toiseksi 1900-luvun aikana nousseen maapallon keskilämpötilan tulee olla havaintojen kanssa sopusoinnussa vähintään kohtuullisesti. Kolmantena Itämeren, sekä muiden Pohjois-Euroopan merien sekä mannerten sijainti tulee olla mallissa oikein, ja viimeisenä

maapallon keskilämpötilan nousun tulee olla järkevässä suhteessa toisiinsa eri kasvihuonekaasuskenaarioiden välillä. Nämä ehdot täyttäneet ilmastomallit olivat käytössä muun muassa tutkimuksessa, jossa laskettiin lämpötilan ja sademäärän muutoksia suhteessa vuosien 1971-2000 keskiarvoon (Ruosteenoja, 2013a).

IPCC:n viidennen arviointiraportin (2013) mukaan ilmastomallit ovat kehittyneet edellisen raportin ilmestymisen jälkeen. Uusimmilla malleilla pystytään esimerkiksi entistä paremmin simuloimaan sään ääri-ilmiöitä, sekä lämpötilan maantieteellisen jakauman piirteitä globaalissa mittakaavassa. Jotta voidaan varmistaa kaikkein uusimpia ilmastomalleja hyväksikäyttämällä kerätyn datan saatavuus, CMIP aineistot päivitetään noin kuuden vuoden välein, samoin kuin IPCC pyrkii julkaisemaan uudet arviointiraporttinsa. Vaikka ilmastomallit ovat kehittyneet paljon viime vuosina, samalla kun entistä parempia ja tarkempia arvioita pystytään tuottamaan, on tärkeää tiedostaa, että ilmastomalleihin liittyy edelleen paljon epävarmuustekijöitä.

2.3 Ilmastomallien epävarmuustekijöitä

Tulevaisuuden ilmastoa ennustavat arviot eivät ole koskaan täydellisiä, vaan ne tulee aina ottaa enemmänkin suuntaa antavina kehityskulkuina. Ylhäisi ym. (2014) jakavat ilmastomallien sisältämät epävarmuustekijät kolmeen eri osatekijään, käyttäen apunaan metodia, jonka oli jo aikaisemmin esitellyt Hawkins ja Sutton (2009). Ensimmäinen epävarmuustekijä oli ilmaston sisäinen, satunnainen vaihtelu [V]. Tämän tyyppinen epävarmuus on vähennettävissä ainoastaan lähitulevaisuuden arvioita tehtäessä. Näin ollen, mitä pitemmän aikavälin ennusteita tehdään, sitä enemmän kyseinen epävarmuustekijä kasvaa. Toinen epävarmuus johtuu käytössä olevista erilaisista mallinnusmenetelmistä ja ilmastojärjestelmän prosessien epätäydellisestä esittämisestä [M(t)]. Tämä määritetään analysoimalla useita eri mallinnusmenetelmiä, ja sitä voidaan vähentää tunnistamalla tärkeimmät prosessit ja esittämällä ne malleissa riittävän tarkasti. Kolmas epävarmuustekijä on luonteeltaan sosio-ekonominen ja riippuvainen eri kehityskuluista, joihin ihmisen toiminta mahdollisesti johtaa. Tämä epävarmuustekijä perustuu kasvihuonekaasupäästöihin, ja niiden kehitykseen [S(t)], jota on mahdoton tarkasti ennalta arvioida. Kaksi jälkimmäistä epävarmuustekijää vaihtelevat ajan funktiona. Näin ollen, Hawkins ja Sutton (2009), muodostivat ilmastomalleja koskevista

epävarmuustekijöistä yhtälön: $T(t) = V + S(t) + M(t)$, jossa $T(t)$ esittää kolmesta eri epävarmuustekijästä muodostuvaa kokonaisepävarmuutta.

Vaikka CMIP5-ilmastomalliaineiston avulla voidaan simuloida suurempia absoluuttisia arvoja kullekin kolmelle epävarmuustekijälle, kuin aikaisemmalla CMIP3-aineistolla, sen mallien kokonaisepävarmuus on suurempi kuin edeltäjänsä. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että CMIP5-malleja hyödynnettäessä käytetään neljää RCP-skenaariota, kun taas CMIP3 malleihin syötettiin kolme SRES-skenaariota. Esimerkiksi, SRES-skenaariot eivät sisällä lainkaan vastinetta RCP-skenaarioiden optimistisimmalle päästöskenaariolle (RCP2.6) (Ylhäisi ym. 2014). Eri ilmastomalleissa tulokset usein poikkeavat toisistaan myös siksi, että ilmiötä joudutaan yksinkertaistamaan malleja varten tietokoneiden rajallisen suorituskyvyn takia (Ruosteenoja, 2013a).

3. Lämpötila

3.1 Havaitut muutokset lämpötilassa

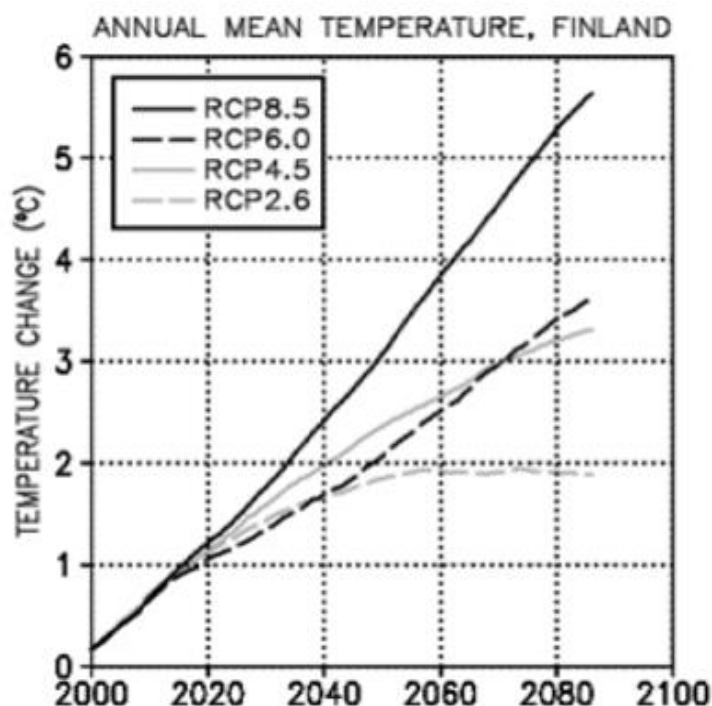
Maapallon keskilämpötila on nousussa ns. kasvihuoneilmiön seurauksena. Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa auringon lämpösäteily ei pääse karkaamaan maapallolta avaruuteen yhtä tehokkaasti kuin ennen. Lämpösäteilyn karkaamista hidastavat ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut, joiden pitoisuudet ovat lisääntyneet merkittävästi ihmisen toiminnan seurauksena erityisesti teollistumisen jälkeen. Lämpösäteilyn karkaamisen hidastuessa maapallon lämpötila luonnollisesti nousee. Toisaalta ihmisen toiminnan seurauksena ilmakehään on päässyt myös paljon pienhiukkasia, joiden myötä ilmakehä on samentunut, mikä puolestaan on johtanut maanpinnan läheisen ilman jäähtymiseen (Ruosteenoja ym. 2013b). Maapallon keskilämpötilan nousu on vaikuttanut, ja tulee jatkossakin vaikuttamaan myös Suomen ilmastoon.

Mikkosen ym. (2015) havaintojen mukaan Suomen ilmastossa on jo havaittavissa selviä lämpenemisen merkkejä. Tutkimuksessaan he osoittivat, kuinka maanlaajuinen, spatiaalisesti keskiarvoistettu vuoden keskilämpötila Suomessa on noussut yhteensä $2.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (95 % luottamusvälillä) vuosien 1847-2013 välisenä aikana. Tulosten mukaan tuona aikana vuoden keskilämpötila Suomessa on noussut 0.14°C per vuosikymmen,

joten kasvu on lähes kaksi kertaa suurempi, kuin vastaava kasvu globaalilla tasolla. Suomessa lämpeneminen on esiintynyt kahdessa jaksossa, 1850-luvulta 1930-luvun loppuun sekä 1960-luvun lopulta tähän päivään. Muutokset ovat olleen merkittävimpiä marras- joulukuun- ja tammikuussa, mutta myös kevätkuukaudet maaliskuun- huhtikuun- ja toukokuun ovat lämmenneet nopeammin kuin vuosittainen keskiarvo (Ruosteenoja ym. 2016). Muutoksia lämpötiloissa Suomessa vuodesta 1961 eteenpäin on tutkittu tarkemmin muun muassa Irannezhad ym. (2015) sekä Aalto ym. (2016) toimesta. Heidän tutkimustuloksensa eroavat hieman toisistaan, sillä Irannezhad ym. (2015) mukaan vuosittainen keskilämpötila olisi muuttunut 0.4 ± 0.2 °C per vuosikymmen, kun taas Aalto ym. (2016), osoittavat vastaaviksi luvuiksi 0.3 ± 0.2 °C. Lisäksi, jälkimmäisen mukaan päivittäisten maksimi- ja minimilämpötilojen keskiarvo olisi myös noussut noin 0.3 ± 0.2 °C ja 0.4 ± 0.2 °C.

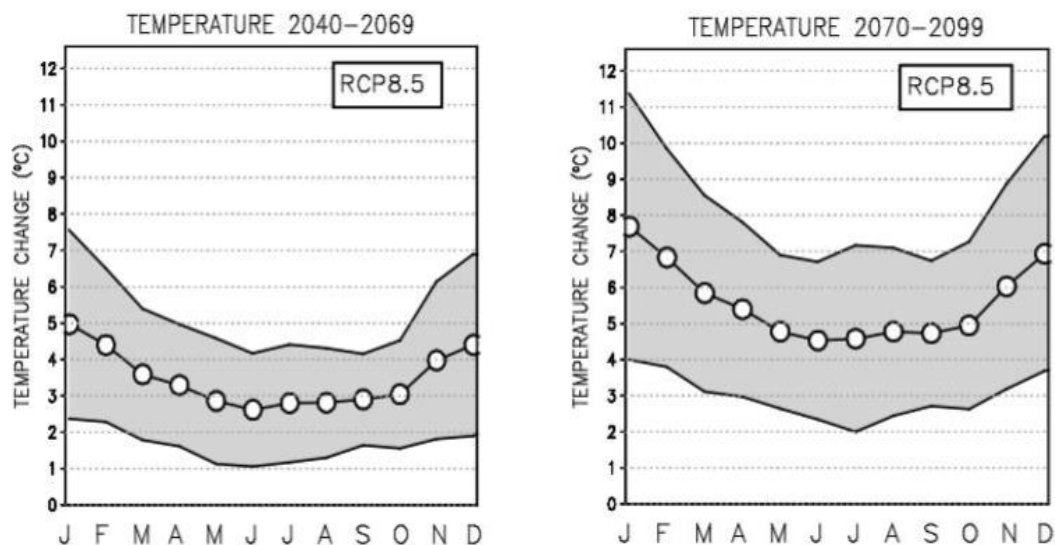
3.2 Lämpötilan muutos tulevaisuudessa

Suomen vuosittaisen keskilämpötilan odotetaan nousevan myös tulevaisuudessa. Myös Suomea koskevia tulevaisuuden arvioita on tehty CMIP5-kokonaisuuteen kuuluvilla globaaleilla ilmastomalleilla (GCM). Ruosteenoja ym. (2016a) esittelevät artikkelissaan sen hetken uusimmat ennusteet Suomen tulevaisuuden ilmastosta. Ennusteet on tuotettu juurikin uusimpia ilmastomalleja hyväksi käyttäen, samoja malleja käytettiin muun muassa valmisteltaessa viidettä IPCC:n arvointiraporttia (2013). Kyseiset ennusteet perustuivat RCP-skenaarioihin. Tehdessään laskelmia tulevaisuuden lämpötilamuutoksista perustuen RCP4.5 ja RCP8.5 –skenaarioihin, tutkijat käyttivät lopulta 28 eri ilmastomallia. Sen sijaan RCP2.6 ja RCP 6.0 –skenaarioihin perustuvat ennusteet tuotettiin käyttämällä ainoastaan 21 ja 15 eri ilmastomallia. Laskelmista saatuja tuloksia verrattiin vuosien 1981-2010 välisen ajan keskiarvolämpötiloihin, kyseinen aikaväli on tuorein 30-vuoden mittainen aikaväli, josta on saatavilla koottuja havaintotietoja Suomen ilmastosta. Vuosittaisten keskilämpötilojen odotettavissa olevat muutokset, perustuen RCP-skenaarioihin, ovat kuvattuna kuvassa 2.



Kuva 2. Arvioidut muutokset vuoden keskilämpötilassa maan pinnalla vuosien 2000-2085 väliselle ajalle, verrattuna ajanjakson 1981-2010 keskiarvoon. Arviot ovat kuvattu erikseen perustuen RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 ja RCP2.6 –skenaarioihin (Ruosteenoja ym. 2016a).

Kaikkien RCP-skenaarioiden mukaan vuoden keskilämpötilan Suomessa odotetaan nousevan samalla nopeudella noin seuraavat kolme vuosikymmentä. 2050-luvulla, kaikki neljä skenaariota sijoittuvat melkein 1°C sisään, kun taas 2080-luvulle tultaessa skenaariot poikkeavat toisistaan jo lähes 4°C. Jos kaikkein kunnianhimoisin skenaario RCP2.6 toteutuisi, vuoden keskilämpötilan nouseva trendi lakkaisi vuosisadan puoliväliin tultaessa, pysähtyen noin kahteen asteeseen. Sen sijaan vaikkapa RCP8.5-skenaariota toteutuessa, lämpötilat nousisivat lähes lineaarisesti koko vuosisadan ajan, tässä skenaariossa vuoden keskilämpötila nousisi noin 6°C vuosisadan loppuun mennessä (Kuva 2). Näiden kahden ääripään väliin sijoittuvien RCP4.5 ja RCP6.0 –skenaarioiden mukaan vuoden keskilämpötila nousisi noin 3-4°C (Ruosteenoja ym. 2016a).



Kuva 3. Arvioidut muutokset keskilämpötiloissa kuukausittain RCP8.5-skenaarion toteutuessa, ajanjaksoille 2040–2069 sekä 2070–2099, vertailukohteena vuosien 1981–2010 välinen ajanjakso. Harmaa varjostus kuvaa muutosten 90 % luottamusväliä (Ruosteenoja ym. 2016a).

Keskilämpötilojen muutokset Suomessa eroavat toisistaan riippuen tarkasteltavasta kuukaudesta sekä maantieteellisestä sijainnista. Kilpeläisen ym. (2010) mukaan keskilämpötilojen odotetaan nousevan hieman nopeammin Etelä-Suomessa, verrattuna maan pohjoisosiin. Sen sijaan, ennusteiden mukaan talvilämpötilat tulevat nousemaan Pohjois-Suomessa hieman nopeammin, kuin Etelä-Suomessa (Ruosteenoja, 2013b). Tarkasteltaessa lämpötilan muutosta koko Suomen mittakaavalla, jokaisen RCP-skenaarion mukaan muutosten voimakkuus lämpötiloissa on matalampi kesällä kuin talvella. Esimerkiksi RCP8.5-skenaariossa, lämpötilan nousu on noin 40 % heikompi kesällä verrattuna talvella (Kuva 3). Talvisin, lämpötilojen odotetaan nousevan jopa 1.6–1.7 kertaisesti, verrattuna kesiin. Esimerkiksi keskilämpötilan tammikuussa odotetaan nousevan 2–9°C vuosisadan loppuun mennessä RCP2.6-skenaarion toteutuessa. Jos taas kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät edelleen tulevaisuudessa, ja RCP8.5-skenaario kävisi toteen, tammikuun keskilämpötilan Suomessa odotetaan nousevan jopa 4–12°C (Ruosteenoja ym. 2016a). Kuten todettua, Mikkonen ym. (2015) havaitsivat tutkimuksessaan Suomen keskilämpötilan nousseen lähes kaksinkertaisesti verrattuna globaaliin keskiarvoon vuosien 1847–2013 välillä. Myös tulevan lämpötilan nousun on

ennakoitu olevan voimakkaampaa Suomessa verrattuna koko maapallon keskiarvoon. Ennakoidut muutokset lämpötiloissa eri vuodenaikoina koko Suomen mittakaavassa verrattuna globaaliin keskiarvoon, ovat esiteltynä taulukossa 1.

Taulukko 1. Vuodenaikainen- ja vuosittainen ennakoitu Suomen keskilämpötilan muutos suhteessa globaaliin keskiarvoon (molemmat arvot useiden mallien keskiarvoja). Arvot ovat laskettu erikseen kahdelle tulevaisuuden ajanjaksolle ja neljälle RCP-skenaariolle. JTH: joului- tammi- helmikuu; MHT: maalii- huhti- toukokuu; KHE: kesä- heinä- elokuu; SLM: syys- loka- marraskuu; Vuos. ka: vuosittainen keskiarvo (Ruosteenoja ym. 2016a: kirjoittajan uudelleen muotoilemana).

Ajanjakso	Skenaario	JTH	MHT	KHE	SLM	Vuos. ka
2040-2069	RCP2.6	2.2	2.0	1.6	1.7	1.9
	RCP4.5	2.2	1.9	1.5	1.5	1.8
	RCP6.0	2.2	1.8	1.5	1.6	1.8
	RCP8.5	2.2	1.7	1.4	1.6	1.7
2070-2099	RCP2.6	2.1	1.8	1.5	1.6	1.8
	RCP4.5	2.2	1.9	1.4	1.6	1.8
	RCP6.0	2.0	1.7	1.4	1.5	1.7
	RCP8.5	2.0	1.6	1.4	1.5	1.6

Kuten yllä oleva taulukko osoittaa, keskilämpötilan Suomessa arvioidaan nousevan noin 1.6-1.9-kertaisesti suhteessa globaaliin keskiarvoon. Ero näyttää olevan suurin RCP2.6-, ja pienin RCP8.5-skenaariossa, ero myös näyttää olevan suurempi lyhyellä tähtäimellä, verrattuna pitkän tähtäimen ennustuksiin. Näin ollen voidaan sanoa, että mitä vähemmän ilmasto lämpenee globaalisti, sitä enemmän Suomen keskilämpötila nousee suhteessa koko maapallon keskiarvoon. Ruosteenoja ym. (2016a) arvioivat tämän liittyvän merijään vetäytymiseen Pohjoisella Jäämerellä. Merijään reuna on suhteellisen lähellä Pohjois-Eurooppaa näin ilmaston lämpenemisen alkuvaiheessa, jähdyttäen sen ilmastoa. Tämä ilmiö luonnollisesti heikentyy merijään sulaessa, ja alueen ilmasto lämpenee nopeammin. Kun merijään reuna on vetäytynyt tarpeeksi kauas merelle, ei edelleen vetäytyvällä jäällä ole enää niin suurta vaikutusta Pohjois-Euroopan ilmastoon. Näin ollen voidaan sanoa, että merijään sulamisen aiheuttama paikallisen ilmaston lämpeneminen on voimakkainta

silloin, kun ilmaston lämpeneminen koko maapallon mittakaavassa on heikkoa. Tätä ajatusta tukee myös se, että taulukossa esiintyvät erot RCP-skenaarioiden sekä ajanjaksojen välillä ovat suurimmillaan keväisin, kun Jäämeren jäätiköt ovat laajimmillaan.

Kuten todettua, ilmastonmuutos vaikuttaa laajasti monelle eri osa-alueelle niin Suomessa, kuin koko maapallolla. Ilmasto itsessään on hyvin monimutkainen systeemi, jonka käyttäytymiseen vaikuttaa monet tekijät. Kuten tässä kappaleessa on kuvattu, lämpötilat ovat jo nousseet, ja tulevat nousemaan Suomessa ilmastonmuutoksen seurauksena. Lämpötilan lisäksi on olemassa toinen tärkeä ilmastosuure, johon ilmastonmuutos on jo vaikuttanut, ja ennen kaikkea tulee vaikuttamaan tulevaisuudessa: sademäärä.

4. Sademäärä

4.1 Sademäärän muutokset 1900-luvun alusta lähtien

Sademäärä on tärkein osa hydrologista kiertoa vaikuttaen eri maankäyttötapoihin sekä makean veden saatavuuteen ympäri maailman. Se on myös yksi tärkeimmistä muuttujista havainnoitaessa ilmastonmuutosta eri alueilla (Cannarozzo ym. 2006). Suomessa on tyypillistä sademäärän alueellinen vaihtelu. Yleisesti ottaen, vuosittainen sademäärä on korkeampi Etelä-Suomessa, verrattuna maan pohjoisosiin. Sademäärästä on saatavilla paljon dataa jopa 1900-luvun alusta saakka, ja sitä koskevia tutkimuksia on tehty Suomessa suhteellisen paljon. Pirisen ym. (2012) mukaan sademäärän vuosittainen keskiarvo vuosien 1981-2010 välillä oli Helsingissä yli 655 mm, vastaavan luvun ollen Utsjoella alle 433 mm. Vuodesta 1961 tähän päivään, sademäärässä ei ole havaittavissa tilastollisesti merkittävää muutosta suuntaan tai toiseen koko Suomen mittakaavalla tarkasteltaessa (Aalto ym. 2016). Myös Ylhäisi ym. (2010) tutkivat sademäärän trendejä Suomessa 1900-luvulla. He käyttivät tutkimuksessaan kahta 100 x 100 km aluetta, joista toinen sijaitsi Lounais-Suomessa ja toinen Koillis-Suomessa, niistä he tutkivat mahdollisia muutoksia vuosittaisessa sademäärässä kasvukauden aikana (toukokuu-syyskuu). Tutkimusasemien määrä vaihteli alle sadasta noin kuuteensataan vuosien 1908-2008 välillä. Tuloksissaan tutkijat havainnoivat merkittävää vuosittaista vaihtelua sademäärässä annetulla aikavälillä. Lounais-Suomessa ainut tilastollisesti merkittävä

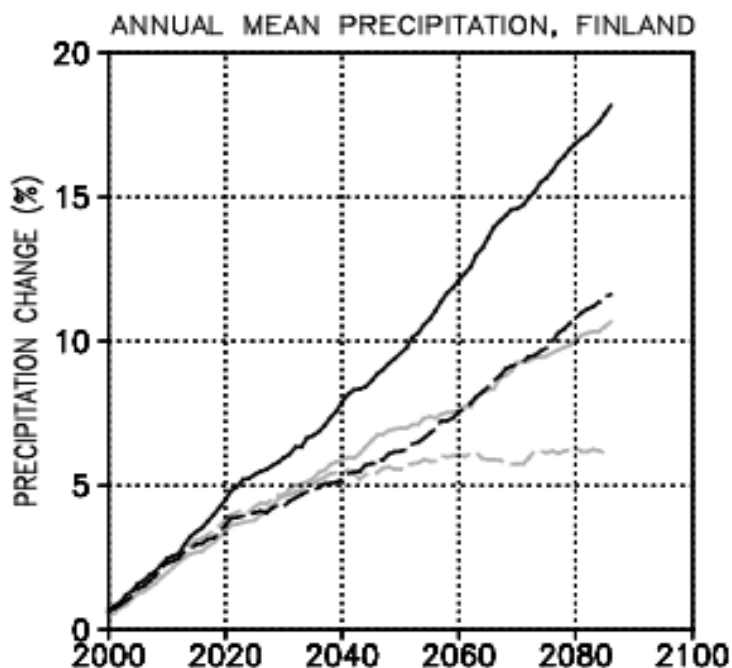
havainto koski kesäkuuta, jolloin sademäärän katsottiin nousseen viime vuosisadan aikana. Sen sijaan Koillis-Suomessa sademäärän kasvu koski koko kasvukautta. Kuitenkin yleisesti ottaen tilastollisesti merkittäviä muutoksia löytyi hyvin vähän, sillä sademäärän katsottiin vaihtelevan hyvin paljon eri kuukausina sekä tutkimusalueiden välillä.

Ylhäisin ym. (2010) keskittyessä sademääriin kasvukausien aikana, Irannezhad ym. (2014) tutkivat vuosittaista, vuodenaikaista sekä kuukausittaista vaihtelua sademäärässä Suomessa vuosien 1911-2011 välillä. Tutkimusasemia heillä oli käytössä yhteensä 165, joista jopa 32 sisälsi dataa koko sadan vuoden ajalta. Heidän havaintojensa mukaan sademäärä oli noussut Suomessa sadassa vuodessa merkittävästi, jopa 0.92 ± 0.50 mm ($p < 0.05$), vuosittaisen sademäärän keskiarvo oli kyseiseltä ajalta 601 mm. Myös he ilmoittivat alueellisesta vaihtelusta sademäärissä, sekä Pohjois-Etelä suunnassa, että Länsi-Itä suunnassa. Sademäärän nousu vaihteli myös riippuen vuodenaikasta, sen ollen voimakkaampaa talvisin, jolloin havaittu kasvu oli 0.46 ± 0.19 mm, kun taas kesällä vastaava arvo oli 0.32 ± 0.29 mm. Absoluuttisesti sademäärä oli kuitenkin suurinta kesällä ollen keskiarvoltaan 209 mm. Syksylle ja keväälle tutkijat eivät löytäneet selvää trendiä sademäärän muutoksissa, mutta kevään katsottiin olleen vähäsateisin vuodenaika 1911-2011 välisenä aikana, jolloin sademäärä oli keskimäärin 209 mm. Edellä mainittuihin tuloksiin viittaa myös kuukausittaiset keskiarvot, joissa suurin arvo oli elokuussa (77 mm), ja pienin arvo maaliskuussa (29 mm).

Kaiken kaikkiaan sademäärän Suomessa katsotaan siis nousseen merkittävästi 1900-luvun aikana, vuosien 1911-2011 välinen keskiarvo vuosittaisessa sademäärässä oli 601 mm, joista suurin osa satoi kesäisin Etelä- ja Keski-Suomessa. Sen sijaan maan pohjoisosissa sademäärän katsotaan olevan alhaisempaa, etenkin keväällä (Irannezhad ym. 2014). Samalla kun huomataan sademäärän nouseva trendi 1900-luvulla, on hyvä tarkastella, kuinka tämän trendin odotetaan jatkuvan seuraavan vuosisadan aikana.

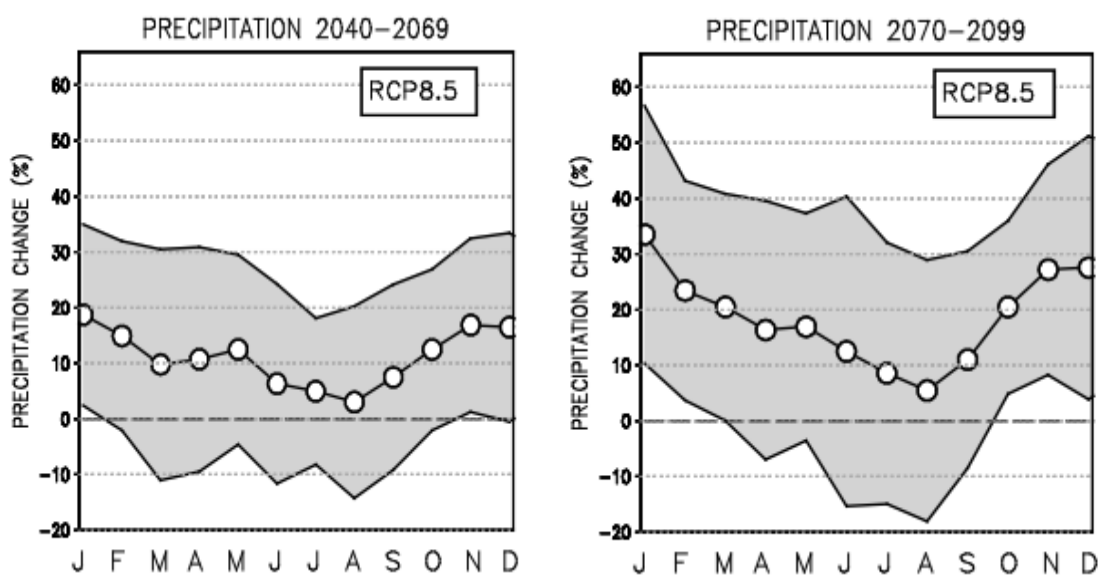
4.2 Odotettavissa olevat sademäärän muutokset

Kuten lämpötilan, myös sademäärän odotetaan kasvavan Suomessa seuraavien muutaman vuosikymmenen aikana suunnilleen samaa vauhtia kaikkien neljän RCP-skenaarion mukaan (Kuva 4). Vasta myöhemmin kuluvan vuosisadan aikana skenaarioiden esittämät sademäärät alkavat selkeästi eroamaan toisistaan. Esimerkiksi RCP2.6:n mukaan sademäärän kasvu alkaisi laantua vuosisadan puoliväliin tultaessa, kun taas RCP8.5 osoittaa sateiden lisääntymistä lähes lineaarisesti koko vuosisadan ajan (Ruosteenoja ym. 2016a). Sademäärän kokonaiskasvu prosentteina olisi RCP2.6-skenaariossa noin 8 %, kun vastaava luku RCP8.5:ssä olisi jopa 20 %. Toinen merkittävä yhteinen ominaisuus lämpötilan ja sademäärän välillä on huomattavasti jyrkempi kasvu talvella verrattuna kesään (Ruosteenoja, 2013b). Myös sademäärää koskevissa ennustuksissa on alueellisia eroja, joka on luonnollista Suomen ollessa pitkä valtio. Kilpeläinen ym. (2010), osoittavat tutkimuksessaan, joka on tosin julkaistu ennen RCP-skenaarioiden esittelyä, että ennustettu kasvu sademäärässä tulee olemaan heikomppaa Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomeen, etenkin kesällä.



Kuva 4. Arvioidut muutokset vuosittaisessa sademäärässä prosentteina 2000-2085 väliselle ajalle, verrattuna ajanjakson 1981-2010 keskiarvoon. Arviot ovat kuvattu erikseen perustuen RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 ja RCP2.6 –skenaarioihin (Ruosteenoja ym. 2016a).

Kuten todettua, vuosittaisen sademäärän oletetaan kasvavan kuluvaan vuosisadan aikana. Sademäärien muutosten arviointi on kuitenkin vaikeaa ja ennustukset ovat usein epävarmoja, tämä johtuu siitä, että sademäärän luonnollinen vaihtelu on suurta eri vuosikymmenien välillä. Näin ollen on tärkeää käyttää pitkän aikavälin havaintoja tutkittaessa menneitä trendejä, sekä tehtäessä tulevaisuuden ennustuksia sademäärästä (Ylhäisi ym. 2010). Joka tapauksessa, ilmastomallien avulla saadut tulokset osoittavat sademäärän merkittävää kasvua erityisesti talvisin. Myös kesällä sademäärän odotetaan kasvavan, mutta tällöin kasvu on huomattavasti heikompaa. Kuvassa 5 on kuvattuna ennustettu sademäärän kasvu kuluvalle vuosisadalle, joka on jaettu kahteen ajanjaksoon. Kuvasta on havaittavissa selvä trendi talvikuukausien sademäärien kasvussa, RCP8.5-skenaarion toteutuessa. Tällöin suurin kasvu esiintyisi tammikuussa, jolloin sademäärän odotetaan kasvavan mallista riippuen jopa 10-60 % (Ruosteenoja ym. 2016b).



Kuva 5. Arvioidut muutokset sademäärässä kuukausittain RCP8.5-skenaarion toteutuessa, ajanjaksoille 2040-2069 sekä 2070-2099, vertailukohteena vuosien 1981-2010 välinen ajanjakso. Harmaa varjostus kuvaa muutosten 90 % luottamusväliä (Ruosteenoja ym. 2016a).

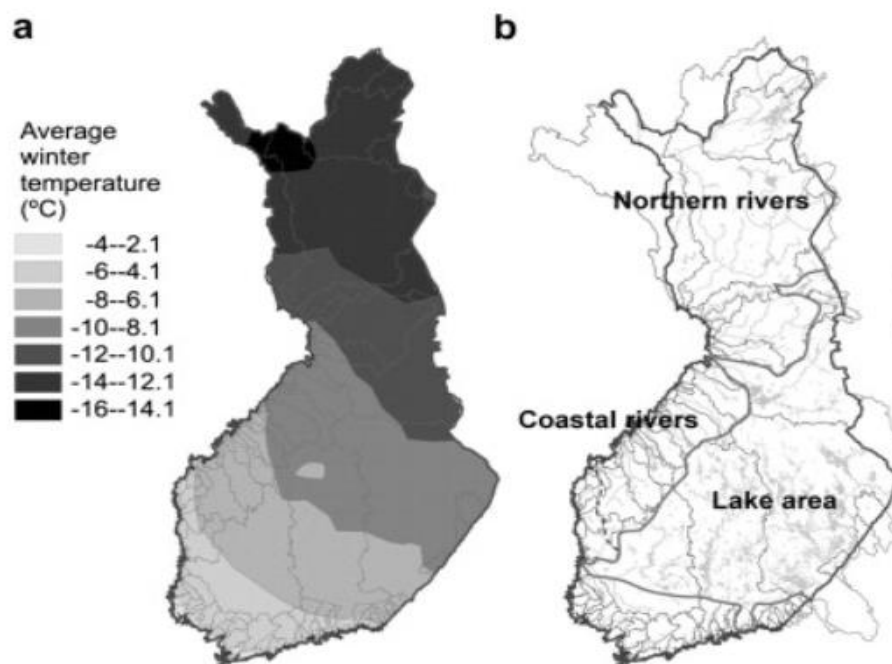
Lämpötilan ja sademäärän odotettavissa olevia muutoksia tarkasteltaessa voidaan tehdä yhteenveto, jonka mukaan Suomen ilmasto tulee muuttumaan lämpimämmäksi sekä sateisemmaksi kuluvan vuosisadan aikana. Toki alueellisia eroja sisältyy molempiin suureisiin. Kuten todettua, muutokset vaihtelevat hyvin paljon myös eri vuodenaikojen, sekä kuukausien välillä. Vaikka annetut ennustukset sisältävät tiettyjä epävarmuustekijöitä, ja tarkkoja lukuja on mahdoton ennustaa, molemmissa suureissa vallitseva nouseva trendi on otettava huomioon. Lämpötilan ja sademäärän muutokset vaikuttavat, ja ennen kaikkea tulevat vaikuttamaan monin tavoin elinolosuhteisiin maailmalla ja Suomessa. Seuraavaksi tarkastellaan ilmiötä, jonka esiintymiseen vaikuttavat juurikin muun muassa edellä käsitellyt ilmastosuureet, mutta myös muut ilmastomuutokseen liittyvät tekijät.

5. Tulvat

5.1 Suomessa esiintyvät tulvat ja niiden aiheuttajat

Tulvat ovat Suomessa tuttu, jokavuotinen ilmiö, joilla on usein esimerkiksi huomattavia taloudellisia seurauksia. Suomessa esiintyvät tulvat voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: joki- ja rannikotulviin, joiden esiintyminen on jakautunut alueellisesti hydrologisten- sekä maantieteellisten tekijöiden mukaan. Suomen vesistöalueet voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: Keski-Suomi lukuisine järvineen, pienet ja keskikokoiset joet rannikolla, sekä suuret ja keskikokoiset joet Pohjois-Suomessa (Kuva 6b). Nämä alueet voitaisiin hyvin jaotella myös topografian, maaperätyypin ja maankäytön mukaan, kun Keski-Suomen tuhannet järvet peittävät jopa 10 % koko Suomen maa-alasta, muuten alueella vallitsee metsäistä moreenimaata. Rannikolla taas sijaitsee maanviljelylle otolliset tasaiset savimaat, kun taas pohjoisessa mäkiäiset moreenimaat (Veijalainen ym. (2010).

Suomen hydrologiaan vaikuttaa suuresti lumi, sen sataminen ja kasautuminen talvella, sekä sulaminen keväällä. Kuten todettua, Suomi on pitkä maa, joten myös lämpötilagradientti on vahva erityisesti talvella (Kuva 6a), joka vaikuttaa lumen kasautumiseen ja sulamiseen. Toinen merkittävä tekijä on syksyisin esiintyvät runsaammat vesisateet.



Kuva 6. (a) Talven keskilämpötila (joulukuu-helmikuu) Suomessa vuosina 1971-2000 (lähde: Ilmatieteenlaitos, 2009), (b) vesistö- ja hydrologiset alueet Suomessa (Veijalainen ym. 2010; Korhonen & Kuusisto, 2010).

Edellä mainitut tekijät ovatkin merkittäviä tulvien syntymisen kannalta, etenkin Pohjois-Suomessa, missä suuret lumimäärät sulavat keväällä hyvin nopeasti aiheuttaen jokien tulvimisen. Pohjois-Suomessa esiintyvistä vuosittaisista tulvista jopa yli 95 % aiheutuvat keväisin sulavasta lumesta. Alueella vallitseekin otolliset olosuhteet keväisille, lumen sulamisesta syntyville tulville, kun terminen talvi kestää noin 200 päivää ja pysyvän lumen kausi noin 150-190 päivää. Sen sijaan etelämpänä olosuhteet ovat erilaiset, kuin myös tulvat, ja niiden syntymiseen vaikuttavat tekijät (Veijalainen ym. 2010).

Keski- ja Etelä-Suomessa rankkasateet ovat merkittävä tekijä tulvien syntymisessä. Lumimäärät ovat huomattavasti alhasempia näillä alueilla, esimerkiksi Lounais-Suomessa terminen talvi kestää vain noin 100 päivää, jolloin lumimäärä ei ehdi kasautua kovin suureksi verrattuna maan pohjoisosiin. Keski-Suomen järvisillä alueilla taas suurimmat tulvat ovat pitkään kestäviä tulvia, jotka aiheutuvat joko pitkäaikaisista

kovista sateista tai lumipeitteen sulamisesta, tai molemmista (Mustonen, 1986). Lumen sulamisesta aiheutuvia tulvia voi kuitenkin esiintyä myös Etelä-Suomessa. Tosin nämä ovat yleensä lieviä ja esiintyvät talvella, jolloin lämpötila saattaa nousta aika-ajoin korkeammaksi sulattaen pienempiä lumikertymiä (Veijalainen ym. 2010).

Koko Suomen mittakaavalla, tulvien voimakkuuksissa esiintyviä eroja viime vuosikymmenien aikana löytyi Korhosen ja Kuusiston (2010) virtaama-analyysin mukaan vain vähän. Sen sijaan virtaamien voimakkuus talvisin katsottiin kasvaneen, samalla kun keväisten virtaamahuippujen katsottiin aikaistuneen. Tosin, tämä kyseinen virtaama-analyysi ulottui vain vuoteen 2004 saakka.

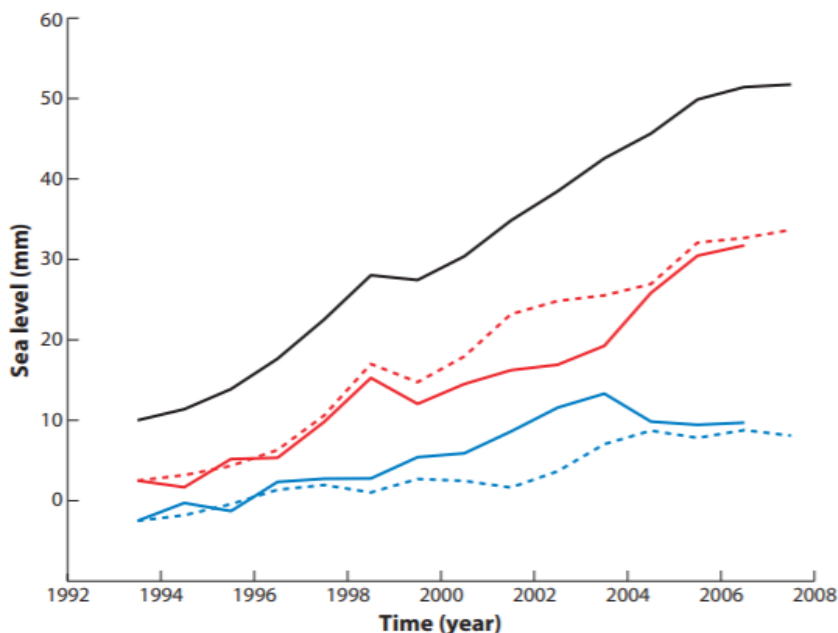
5.2 Merenpinnan nousun vaikutus tulviin

Kasvavan sademäärän ja yhä nopeamman lumen sulamisen lisäksi merenpinnan nousu on myös huomattava tulvien voimakkuuteen vaikuttava tekijä. Ilmaston lämmetessä jääpeitteet, jäätiköt ja lakijäätiköt alkavat sulaa entistä nopeammin, jonka myötä merenpinta nousee. Suomella on pitkästi rantaviivaa Itämerelle, joten merenpinnan nousu vaikuttaa myös Suomessa esiintyviin tulviin. Itämeri liittyy Atlantin valtameren pohjoisosaan Tanskan salmien välityksellä. Itämeren pinnankorkeus vaihtelee enimmäkseen alueellisten meteorologisten olosuhteiden johdosta. Näistä yksi merkittävimpiä tekijöitä on NAO (North Atlantic Oscillation), jonka positiivinen indeksi osoittaa vahvoja Länsituulia yli Pohjois-Atlantin. Näillä tuulilla on taipumus ohjata vettä Pohjois-Atlantilta Tanskan salmien läpi Itämerelle (Johansson ym. 2014). Merenpinnan nousun voimakkuus kuitenkin vaihtelee eri puolilla Suomen rannikkoa johtuen alueellisista eroista maankohoamisen voimakkuuksissa. Tutkimuksessaan Johansson ja kumppanit (2014) luovat erilaisia merenpinnan muutoksia koskevia skenaarioita, jotka sisältävät maankohoamisen, tuulen aiheuttamat muutokset sekä suuren mittakaavan merenpinnan nousun. Keskiarvo skenaarion mukaan merenpinta tulisi nousemaan 24-33 cm vuodesta 2000 vuoteen 2100 Suomenlahdella, missä maankohoaminen on heikointa. Sen sijaan Pohjanlahdella, missä maankohoaminen on suhteellisen voimakasta, sama skenaario ennusti merenpinnan laskua 24-30 cm. Näiden kahden ääripään väliin sijoittuvalla Selkämerellä tulokset vaihtelivat merenpinnan 21 cm laskusta 9 cm nousuun. Tutkijat alleviivasivat kuitenkin suuren mittakaavan merenpinnan nousun tutkimiseen

liittyviä huomattavia epävarmuustekijöitä. Esimerkiksi suurikokoisten jäätiköiden dynamiikkaa lämpenevässä ilmastossa tulee tutkia vielä paljon. Tämän lisäksi painovoiman vaikutukset sekä merien dynamiikan muutokset, jotka vaikuttavat merenpinnan nousun maantieteelliseen jakautumiseen, tarvitsevat vielä paljon lisätutkimusta, jotta globaalia merenpinnan nousua voidaan ennustaa tarkemmin.

Sulava jää, ja muut makean veden lähteet, jotka lisäävät meriveden kokonaismassaa, (maa- ja pohjavedet, järvet, lumipeite jne.), eivät suinkaan ole ainoat vaikuttavat tekijät merenpinnan nousuun, sillä yksi todella merkittävä tekijä on veden lämpölaajeneminen. Cazenave ja Llovel (2010) mukaan vuosien 1993-2007 välillä tapahtunut suuren mittakaavan merenpinnan nousu johtui ~55-prosenttisesti jään sulamisesta, samalla kun meriveden lämpölaajenemisen osuus oli jopa ~30 %. Domingues ym. (2008) arvioivat veden lämpölaajenemisen osuuden merenpinnan nousussa kehittyneen 0.5 ± 0.08 mm/vuosi vuosien 1961-2008 välillä, samalla kun meriveden kokonaismassan vastaava luku oli kasvanut vuosien 1955-2001 aikana ~1.5 mm/vuosi, myös tästä voidaan havaita vahva positiivinen riippuvuussuhde näiden kolmen muuttujan välillä. Kuvassa 7 on nähtävillä meriveden lämpölaajenemiskäyrä vuodesta 1993 alkaen, lisäksi kuvassa esitetään merenpinnan nousu, josta on vähennetty lämpölaajenemisen osuus, ja näin ollen on jäljelle jäänyt ainoastaan meriveden massan kasvu. Lisäksi kuvasta 7 voidaan havaita merenpinnan nousun voimakkuus vuosien 1993-2007 välillä, sekä siihen sisältyvä lämpölaajenemisen suhteellinen osuus.

Vuodesta 2003 alkaen, veden lämpölaajenemisen osuus merenpinnan nousuun on hieman alentunut, samalla kun merenpinta on jatkanut nousuaan. Suorien- ja epäsuorien arvioiden mukaan meriveden kokonaismassan kasvu selittää noin 80-prosenttisesti vuosien 2003-2008 välillä tapahtuneen merenpinnan nousun. On hyvin todennäköistä, että tällä hetkellä vallitseva veden lämpölaajenemisen suhteellinen alentuminen on väliaikaista, näin ollen jäätiköiden sulamisen edelleen kiihtyessä lähitulevaisuuden merenpinnan taso voi olla yllätyksellinen (Cazenave & Llovel, 2010). Merenpinnan nousu, ja siihen liittyvä meriveden kokonaismassan vaihtelu ovat monimutkaisia ilmiöitä, ja näin ollen myös niiden välistä suhdetta on vaikea määrittää tarkasti, sillä näiden kahden muuttujan väliseen suhteeseen vaikuttaa myös monet muut tekijät, esimerkiksi meriveden syvyyden ja suolapitoisuuden alueellinen vaihtelu.



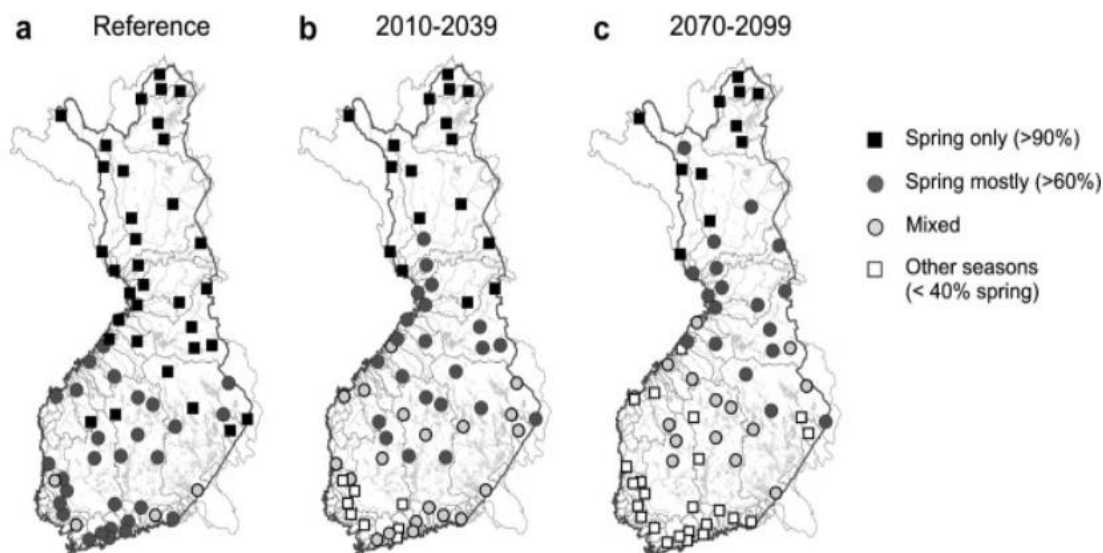
Kuva 7. Sininen viiva: Meriveden lämpölaajeneminen vuosina 1993-2006 (Ishii & Kimoto, 2009), sininen katkoviiva: lämpölaajeneminen vuosina vuosina 1993-2007 (Levitus ym., 2009), musta viiva: globaali merenpinnankorkeus vuosittaisina keskiarvoina, punaiset viivat: havaittu globaali merenpinnankorkeus, josta vähennetty lämpölaajenemisen osuus perustuen Ishii ja Kimoto, 2009 ja Levitus ym. (2009) (katkoviiva). (Cazenave & Llovel, 2010).

5.3 Tulvat tulevaisuudessa Suomessa

Ilmastonmuutoksen vaikutus vesi- ja valuma-alueisiin voi vaihdella merkittävästi eri alueilla riippuen sen sijainnista, valuma-alueen ominaisuuksista sekä jokiverkostoista. Vuonna 2007 Euroopan Komissio asetti tulvadirektiivin, joka edellytti jäsenvaltioita valmistelemaan alustavan arvion tulvariskeistä, jotka tulisi myös kartoittaa. Lisäksi valtioiden tuli laatia suunnitelmia tulevaisuuden tulvariskien hallintaa varten, kyseiset vaatimukset tulisi suorittaa vuosien 2011-2015 aikana (Veijalainen ym. 2010). Näin ollen myös Suomessa ollaan tehty tutkimusta tulvista ja niiden mahdollisista muutoksista, sekä laadittu ohjeita, kuinka tulevaisuuden tulvia voidaan pyrkiä hillitsemään ja kuinka niihin voidaan varautua.

Keski- ja Etelä-Suomessa tulvien odotetaan olevan entistä voimakkaampia tulevaisuudessa, kun vuosittaisen sademäärän odotetaan nousevan. Huomattavaa on, että tutkimusten mukaan tulevaisuuden tulvat, ja niiden aiheuttamat vahingot tulevat olemaan yleisempiä Etelä-Suomessa, missä suurimmat kaupungit ja tulvariskialueet sijaitsevat (Ruosteenoja & Jylhä, 2007). Kuitenkin, Veijalainen ja kumppanit (2010) alleviivaavat artikkelissaan, että Etelä-Suomessa esiintyy huomattavia eroavaisuuksia mahdollisissa tulevaisuuden tulvariskeissä jopa lähellä toisiaan sijaitsevien alueiden välillä. Näin ollen suuria johtopäätöksiä ei voida tehdä perustuen vain muutamiin alueella tehtyihin tutkimuksiin. Eroavaisuudet tällä alueella voidaan selittää eri valuma-alueiden ominaisuuksilla sekä alueen klimatologialla, näiden lisäksi selittäviä muuttujia ovat muun muassa järvisyys, sekä lumen vesiarvo.

Veijalainen ym. (2010) tiivistävät tutkimuksensa lopputuloksissa, että ilmastomuutoksen vaikutus tulviin Suomessa vaihtelee suuresti eri alueilla riippuen alueen sijainnista, valuma-alueen ominaisuuksista sekä simulaatiossa käytetystä ilmastoskenaariosta. Kuitenkin yksi merkittävä huomio oli virtaaman ja tulvien kausiluonteisuuden muuttuminen, jolloin tulvat esiintyvät tulevaisuudessa todennäköisesti syksyisin ja talvisin, kun taas keväisin esiintyvät tulvat vähenevät, etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Pohjoisempana lumen sulamisesta syntyvien tulvien odotetaan myös vähenevän vuosiin 2070-2099 mennessä, lukuunottamatta joitain pohjoisen valuma-alueita, missä tilanne joidenkin skenaarioiden mukaan tulee pysymään muuttumattomana ainakin kuluvan vuosisadan ajan. Edellä mainitut tulvien kausiluonteisuuden muutokset kuluvan vuosisadan loppuun mennessä voidaan havaita kuvasta 8.



Kuva 8. Simuloitujen vuosittaisten suurimpien tulvien ajoitus (kevättulvien prosenttiosuuksiin perustuen, maalis- kesäkuu) vuonna 2010 (a), vuosien 2010-2039 aikana (b) sekä vuosien 2070-2099 aikana (c) (Veijalainen ym. 2010).

Alueilla, missä tulvia esiintyy yleensä syksyisin ja talvisin, esimerkiksi suurten järvien alueilla Keski-Suomessa, tulvat tulevat yleistymään ja niiden voimakkuuden odotetaan kasvavan sitä mukaa, kun alueen lämpötila kasvaa ja sademäärä lisääntyy. Etelä-Suomen rannikoilla myös edellä mainitun merenpinnan nousun odotetaan vaikuttavan tulvien voimakkuuteen, joten juuri näillä alueilla tuleekin tulevaisuuden maankäytön suunnittelussa tarkasti ottaa huomioon mahdollinen tulvien lisääntyminen ja niiden voimakkuuksien kasvaminen. Pellikka ja kumppanit (2018) tutkivat juurikin rannikolla esiintyviä tulvia, heidän mukaansa rannikotulvien mahdollisuus tulee kasvamaan Suomenlahden alueella etenkin vuosien 2050-2100 välillä. Tulvat, jotka aiheuttavat merkittäviä vahinkoja alueille, esimerkiksi vuoden 2005 tammikuussa Helsingissä esiintynyt tulva, jolloin merenpinta nousi jopa 170cm, tulevat todennäköisesti yleistymään kuluvan vuosisadan loppuun mennessä, jolloin näin voimakkaita tulvia voi

esiintyä alueella jopa joka toinen vuosi. Sen sijaan Selkämerellä ja Pohjanlahdella, missä maankohoaminen hillitsee alueellista merenpinnan nousua, tulvariskien odotetaan heikentyvän vuoteen 2050 mennessä. Joka tapauksessa, kuluvan vuosisadan loppuun mennessä myös pohjoisilla rannikoilla tulvatodennäköisyyksien odotetaan nousevan verrattuna nykyiseen tilanteeseen. On kuitenkin hyvä muistaa, että johtopäätökset lisääntyvistä tai vähenevistä tulvavahingoista tulee tehdä varovaisesti, johtuen valuma-alueiden eroavaisuuksista (Veijalainen ym. 2010).

Tulvien, ja niiden riskien tutkiminen on hyvin tärkeää esimerkiksi ilmastonmuutokseen sopeutumisen, rannikkosuunnittelun, ja rakentamisen kannalta. Tarkkoja arvioita tulevaisuuden tulvatodennäköisyyksistä tarvitaan, jotta voidaan varmistaa rakentamisen taloudellinen kannattavuus ja turvallisuus maan rannikkoalueilla. Tällä tavoin voidaan myös ehkäistä tulevaisuuden tulvien aiheuttamia mahdollisia vahinkoja alueiden infrastruktuuriin. Yleisesti ottaen, rakennettavan kaupunki-infrastruktuurin elinikä on noin 100-200 vuotta (Pellikka ym. 2018), ja kuten todettua, tällä aikavälillä tulevaisuudessa tulee esiintymään huomattavia muutoksia muun muassa merenpinnan tasossa johtuen ilmastonmuutoksesta sekä muista tekijöistä. Merenpinnan taso nousi globaalisti 10-20 cm 1900-luvun aikana, ja sen odotetaan jatkavan merkittävää nousuaan myös 2000-luvun aikana (Pellikka ym. 2018).

Kuten todettua, Suomessa esiintyviin rannikotulviin vaikuttaa nykypäivänä suuresti maankohoaminen. Viimeisen jääkauden aikana alaspäin painunut maa kohoaa hiljalleen ylöspäin, joka hillitsee merenpinnan nousua Suomen rannikoilla. Johansson ym. (2014) mukaan maankohoaminen vaihtelee Suomen rannikolla 4.1-9.9mm/vuosi. Se on heikointa Suomenlahdella, ja vahvinta Vaasan alueella Pohjanlahdella. Kuitenkin, samassa tutkimuksessaan he osoittivat jo olemassa olevia, sekä odotettavissa olevia muutoksia nykyiseen tilanteeseen. Etelä-Suomen rannikoilla maankohoaminen on heikentynyt, kun samaan aikaan merenpinnan nousu on kiihtynyt, näin ollen Etelä-Suomen rannikoilla maankohoaminen ei enää hillitse merenpinnan nousua, ja voimakkaampia tulvia on odotettavissa alueelle. Sen sijaan Pohjois-Suomessa tilanne on toinen, sillä siellä maankohoaminen on vielä suhteellisen voimakasta. Mutta Johanssonin ja kumppanien (2014) tutkimuksen mukaan merenpinnan nousu tulee ylittämään maankohamisen joka puolella Suomen rannikkoa vuoteen 2100 mennessä.

6. Pohdinta ja johtopäätökset

Tässä työssä olen käynyt läpi ilmastonmuutoksen vaikutuksia lämpötilaan, sademäärään, merenpinnan nousuun sekä tulviin Suomessa. Ensiksi esitellen jo havaittuja vaikutuksia edellä mainittuihin ilmiöihin, jonka jälkeen olen keskittynyt odotettavissa oleviin muutoksiin. On selvää, että ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat vaihtelevaan alueellisesti Suomen rajojen sisällä, koska Suomi on suhteellisen suurikokoinen valtio. Näin ollen olenkin pyrkinyt esittelemään odotettavissa olevia muutoksia kansallisen tason lisäksi myös alueellisella- ja paikallisella tasolla. Muutokset myös vaihtelevat esimerkiksi vuodenaikojen välillä sekä riippuen tutkimuksissa käytetyistä ilmastoskenaarioista ja malleista. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tutkittaessa esiintyy myös erilaisia epävarmuustekijöitä, joita on lueteltu tämän työn alkuvaiheessa. Kun kaikki nämä seikat on otettu huomioon, olen pyrkinyt saamaan aikaan kokonaisvaltaisen kuvan odotettavissa olevista ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa.

Ensimmäisenä luettelin vaikutuksia kahteen merkittävään ilmastosuureeseen: lämpötilaan ja sademäärään. Tutkimusten mukaan lämpötila tulee nousemaan Suomessa kuluvan vuosisadan aikana. Nousun ennustetaan olevan hieman jyrkempää Etelä-Suomessa kesällä, kun taas talvella lämpötilan odotetaan nousevan jyrkemmin Pohjois-Suomessa. Koko Suomen mittakaavalla lämpötilan odotetaan nousevan kaikkien skenaarioitten mukaan lähes kaksi kertaa nopeammin verrattuna globaaliin keskiarvoon, ja lämpeneminen tulee olemaan voimakkainta talvella. Loppujen lopuksi tulevaisuuden lämpötilan nousun määrittelee kasvihuonekaasupäästöt ja -pitoisuudet. RCP8.5-skenaarion toteutuessa, lämpötilan odotetaan nousevan Suomessa jopa 6°C kuluvan vuosisadan aikana, sen sijaan optimistisimman skenaarion RCP2.6 toteutuessa lämpötilan nousu saataisiin rajoitettua reiluun kahteen asteeseen.

Myös toisen käsittelyssä olleen ilmastosuureen, sademäärän, odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Huomattavin kasvu ennustetaan esiintyvän Pohjois-Suomessa. Vuotuisen kokonaissademäärän kasvu vaihtelee myös eri skenaarioiden välillä 8 %:sta (RCP2.6) jopa 20 %:iin (RCP8.5). Koko Suomen mittakaavalla, kuten lämpötilan, myös sademäärän odotetaan kasvavan selvästi voimakkaammin talvella kuin kesällä. Voidaan siis todeta, että tulevaisuuden talvet Suomessa tulevat olemaan lämpimämpiä ja

sateisempia, ja talvisin esiintyvät sateet ovat yhä enemmän vesisateita. Tämän vuoksi vuodenaikojen väliset erot tulevat hämärtymään.

Kolmas tarkastelussa ollut ilmiö oli tulvat. Tulvat ovatkin hieman monimutkaisempi ilmiö tutkia, koska niiden voimakkuuteen ja yleistymiseen vaikuttaa usea eri muuttuja. Tulvien esiintymiseen tulevaisuudessa vaikuttaa etenkin muutokset lämpötilassa ja sademäärässä, mutta myös tulevaisuudessa kiihtyvä merenpinnan nousu. Merenpinnan nousua tuleekin tarkastella hieman syvemmin, johtuen sen suuresta vaikutuksesta erityisesti Suomessa esiintyviin rannikkotulviin. Toinen Suomessa yleisesti esiintyvä tulvatyyppi on jokitulvat, joihin vaikuttaa erityisesti sademäärän muutokset ja lumen sulaminen. Etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa tulvien odotetaan yleistyvän ja niiden ennustetaan olevan yhä voimakkaampia, johtuen sateiden lisääntymisestä sekä merenpinnan noususta. Sen sijaan Pohjois-Suomessa pääosin lumen sulamisesta johtuvat keväiset jokitulvat tulevat heikentymään kuluvan vuosisadan loppuun mennessä. Kuten aikaisemmin todettiin, tulvien tutkiminen on hyvin tärkeää tulevaisuuden kannalta etenkin taloudellisista syistä, koska tulvien odotetaan esiintyvän yhä useammin ja voimakkaammin alueilla, missä rakennettua infrastruktuuria on paljon ja väestötiheys on suurta. Näin ollen tulevaisuuden tulvien laaja-alaiset tutkimukset ovat tarpeen kustannustehokkaan ja turvallisen rakentamisen varmistamiseksi myös tulevaisuudessa. Kapeasti katsottuna, ilmaston lämpenemisestä voi olla joitakin hyötyjä suomalaisille, esimerkiksi maanviljelijöille kasvukausien pidentyessä. Kuitenkin tällaisen ajattelumallin voidaan todeta olevan virheellinen, ja jopa vaarallinen. Ilmastonmuutos on laaja, monimutkainen ilmiö, joka tulee vaikuttamaan käytännössä katsoen joka puolelle maapalloa eri tavoin. Ilmastonmuutos tulee pahimmassa tapauksessa aiheuttamaan useiden eliölajien sukupuuton sekä lisäämään tuhoisia sään ääri-ilmiöitä. Näin ollen yhä useampi alue maapallolla muuttuisi elinkelvottomaksi, jolloin suuret ihmismassat olisivat pakotettu muuttamaan muualle. Esimerkiksi kuivuuden lisääntyessä ja veden loppuessa, tilanteet voivat kärjistyä ja johtaa konflikteihin ja tätä kautta suuriin inhimillisiin kärsimyksiin. Nykyisen globalistisen maailmanjärjestyksen vallitessa, jonkin tietyn alueen vaikeudet heijastuvat myös muihin alueisiin, kuten Ruosteenoja ym. (2013a) totesivat: ”Esimerkiksi satojen miljoonien ympäristöpakolaisten maailma olisi turvaton paikka koko ihmiskunnalle.”. Ilmastonmuutoksen voidaan siis todeta olevan koko

maapallon, ja sen asukkaiden yhteinen haaste, jonka hillitseminen on elintärkeää tulevaisuuden kannalta.

On hyvä muistaa, että Suomen ilmastoa koskevat pitkän aikavälin ennusteet sisältävät edelleen paljon epävarmuuksia. Eri malleilla tehtyt ennusteet poikkeavat toisistaan välillä hyvinkin paljon. Kuitenkin varmaa on se, että maapallon keskilämpötila on noussut viime vuosikymmenien aikana, ja lämpenevän trendin odotetaan jatkuvan myös tällä vuosisadalla. Näin ollen myös Suomen vuosittainen keskilämpötila tulee edelleen nousemaan, jonka lisäksi etenkin talvet tulevat hyvin todennäköisesti olemaan entistä sateisempia. Näiden muutosten myötä esimerkiksi lumiset talvet tulevat harvenemaan merkittävästi tulevaisuudessa. Varmaa on myös se, että tulevaisuuden ilmasto niin Suomessa, kuin koko maapallolla tulee määräytymään loppujen lopuksi kasvihuonekaasupäästöjen voimakkuuden mukaan.

Lähteet:

- Aalto, J., P. Pirinen & K. Jylhä, (2016). *New gridded daily climatology of Finland — Permutation-based uncertainty estimates and temporal trends in climate*. Journal of Geophysical Research – Atmospheres.
- Cannarozzo, M., L.V. Noto & F. Viola, (2006). *Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921-2000)*. Phys. Chem. Earth, 31, 1201-1211.
- Cazenave, A & W. Llovel, (2010). *Contemporary Sea Level Rise*. The Annual Review of Marine Science, 2010. 2, 145-73.
- Domingues, C., J. Church., N. White., PJ. Glecker., SE. Wijffels., PM. Barker & JR. Dunn, (2008). *Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise*. Nature, 453, 1090-93.
- Hawkins, E & R. Sutton, (2009). *The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions*. Bulletin of the American Meteorological Society, 90 (8), 1095-1107.
- Kasvihuonekaasujen päästö- ja pitoisuusskenaariot, Ilmasto-opas, Ilmatieteenlaitos. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/5101fae4-2702-413c-a3f3-707328fb0d07/kasvihuonekaasujen-paasto--ja-pitoisuusskenaariot.html>>. 30.1.2020.
- Kilpeläinen, A., S. Kellomäki., H. Strandman & A. Venäläinen, (2010). *Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland*. Climatic Change, 103, 383-398.
- IPCC. 2013. *Summary for Policymakers*. In: IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: 3–29.
- IPCC-Ilmastopaneeli, Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ipcc-ilmastopaneeli>>. 30.1.2020.
- Irannezhad, M., H. Marttila & B. Kløve, (2014). *Long-term variations and trends in precipitation in Finland*. International Journal of Climatology, 34, Issue 10.
- Irannezhad, M., D. Chen & B. Kløve, (2015). *Interannual variations and trends in surface air temperature in Finland in relation to atmospheric circulation patterns, 1961-2011*. International Journal of Climatology, 35, 3078-3092.
- Johansson, M., H. Pellikka., K. Kahma & K. Ruosteenoja, (2014). *Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast*. Journal of Marine Systems, January 2014, 129, 35-46.
- Korhonen, J & E. Kuusisto, (2010). *Long term changes in the discharge regime in Finland*. Hydrol. Res., 41 (3-4), 253-268.
- Mikkonen, S., M. Laine., H. Mäkelä., H. Gregow., H. Tuomenvirta., M. Lahtinen & A. Laaksonen, (2015). *Trends in the average temperature in Finland, 1847-2013*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29, 1521-1529.
- Mustonen, S, (1986). *Sovellettu Hydrologia. (Applied Hydrology)* Vesiyhdistys r.y., Mänttä. 503pp.

- Pellikka, H., U. Leijala., M. Johansson., K. Leinonen & K. Kahma, (2018). *Future probabilities of coastal floods in Finland*. Continental Shelf Research, 157, 1, 32-42.
- Pirinen, P., H. Simola., J. Aalto., J. Kaukoranta., P. Karlsson & R. Ruuhela, (2012). *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010*. Raportteja 2012:1, Ilmatieteenlaitos. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ruosteenoja, K & K. Jylhä, (2007). *Temperature and precipitation projections for Finland based on climate models employed in the IPCC 4th Assessment Report*. Third International Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland.
- Ruosteenoja, K. (2013). MAAILMANLAAJUISIIN ILMASTOMALLEIHIN PERUSTUVIA LÄMPÖTILA- JA SADEMÄÄRÄSKENAARIOITA. SETUKLIM-project, 1. subproject.
- Ruosteenoja, K., J. Räisänen., K. Jylhä., H. Mäkelä., I. Lehtonen., H. Simola., A. Luomaranta & S. Weiher, (2013). *Maailmanlaajuisiin CMIP3- malleihin perustuvia arvioita Suomen tulevista ilmastosta*. Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/543325/Ruosteenojaym_2013nro4.pdf/2a48644b-ea9d-4693-9f7c-374ad2839d24> 29.1.2020
- Ruosteenoja, K., K. Jylhä & M. Kämäräinen, (2016). *Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios*. Geophysica, 51, (1), 17-50
- Ruosteenoja, K., J. Räisänen., A. Venäläinen., M. Kämäräinen & P. Pirinen, (2016). *Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa*. Terra 128: 1, 3-15
- van Vuuren, D., J. Edmonds., M. Kainuma., K. Riahi., A. Thomson., K. Hibbard., G. Hurtt., T. Kram., V. Krey., J-F. Lamarque., T. Masui., M. Meinshausen., N. Nakicenovic., S. Smith & S. Rose, (2011). *The representative concentration pathways: an overview*. Climatic Change 109:5-31
- Veijalainen, N., E. Lotsari., P. Alho., B. Vehviläinen & J. Käyhkö, (2010). *National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland*. Journal of Hydrology, 391, Issues 3-4, 24 September 2010, Pages 333-350.
- Ylhäisi, J., H. Tietäväinen., P. Peltonen-Sainio., A. Venäläinen., J. Eklund., J. Räisänen & K. Jylhä, (2010). *Growing season precipitation in Finland under recent and projected climate*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 1563-1574.
- Ylhäisi, J., L. Garrè., J. Daron & J. Räisänen, (2014). *Quantifying sources of climate uncertainty to inform risk analysis for climate change decision-making*. Local Environment, 20, 811-835.